

Henri Waaramaa

# Ylijännitesuojaus ukkossuojausstandardin näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

22.1.2015

Tekijä Otsikko	Henri Waaramaa Ylijännitesuojaus ukkossuojausstandardin näkökulmasta
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liite 22.1.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	lehtori Matti Sundgren ryhmäpäällikkö Pasi Poikonen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena on perehdyttää lukija ylijännite- ja ukkossuojausstandardien näkökulmasta huomioitaviin asioihin rakennusten sähkönjakelu- ja telejärjestelmien ylijännitesuojausta suunniteltaessa. Työssä perehdytään Suomessa käytössä oleviin standardeihin, ylijännitesuojauksessa käytettäviin komponentteihin ja ukkossuojauksen tarpeen arvioinnin perusteita.</p> <p>Opinnäytetyön sisältö on saatu tutkimalla aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja standardisarjoja. Aihepiirin rajauksessa ja tutustumisessa on saatu ohjeistusta ylijännite- ja ukkossuojauksen asiantuntijalta.</p> <p>Työssä käydään läpi Suomessa voimassa olevat ukkossuojausstandardit ja niiden perustana oleva IEC-standardisarja sekä esitellään standardisarjoihin perustuva suomenkielinen SFS-käsikirja 609. IEC:n laatima standardisarja 62305 on kokonaisuudessaan englanninkielinen, ja se sisältää neljä osaa.</p> <p>Standardisarjan tutkimisen kautta aikaan saatu opinnäytetyö tarjoaa aihepiiristä kiinnostuneelle henkilölle suomenkielisen tietopaketin standardisarjan perusteisiin ja tutkimiseen, sekä antaa perustiedot ukkossuojauksen rakenteesta ja suunnittelusta.</p>	
Avainsanat	ukkossuojaus, ylijännitesuojaus, IEC 62305, SFS609

Author Title	Henri Waaramaa Overvoltage protection from the perspective of the lightning protection standard
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendice 22 January 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering of Building Services
Instructors	Matti Sundgren, Senior Lecturer Pasi Poikonen, Project Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to introduce the basics to be taken into consideration from the viewpoint of overvoltage and lightning protection standards when planning the power sharing and telecommunications systems for a building. The focus was on the standards used in Finland, the components used for overvoltage and/or surge protection, and on the basis of estimating a need for a lightning-protection.</p> <p>The Bachelor's thesis was mainly based on the study of relevant literature and related series of standards. Advice and guidance in outlining and investigating the research topic were received from a specialist on the study of overvoltage and lightning protection.</p> <p>The thesis introduced the present operative lightning protection standards in Finland and the IEC standards on which the standards in Finland are based. The thesis also presented a manual number 609 in Finnish founded on a related series of standards.</p> <p>The thesis serves as a complete information package on the fundamentals of the series of standards regarding overvoltage and lightning protection and on the basics of how to study this topic. The thesis also provides the basic understanding of the structure, planning, and development of lightning protection systems.</p>	
Keywords	Lightning protection, Overvoltage protection, IEC 62305, SFS609

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suomessa voimassa olevat ukkossuojausstandardit	2
3	Ukkonen sääilmiönä	4
3.1	Ukkonen	4
3.1.1	Ilmamassaukkonen	5
3.1.2	Rintamaukkonen	5
3.2	Salamat	6
3.2.1	Salamatiheys	7
3.2.2	Pilvisalamat	8
3.2.3	Negatiivinen maasalama	8
3.2.4	Positiivinen maasalama	9
4	Ylijännitteet	10
4.1	Lyhytaikaiset ylijännitteet	10
4.2	Induktiiviset, galvaaniset ja kapasitiiviset kytkeytymiset	11
4.3	Laitteiden ylijänniteluokitukset	13
5	IEC 62305-2: Ukkosvahingot ja -menetykset	14
5.1	Salamaparametrit	14
5.2	Pallomenetelmän käyttö erilaisilla LPL -tasoilla	16
5.3	Salaman iskukohta (Source)	17
5.4	Vahinkolajit (Damage)	18
5.5	Menetyslajit (Loss)	18
6	Suojakomponentit ja materiaalit	19
6.1	Luontaiset komponentit	21
6.2	Luontaisten suojauskomponenttien käytön edellytykset	21
6.3	Erotuskipinäväli	23
7	Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmät	24
7.1	Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien suojausperiaatteet	24
7.2	Koordinoitu ylijännitesuojaus	26

8	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. IEC 62305-4:n sisällysluettelo suomennettuna	

## Lyhenteet

ESP	Electrical and electronic system protection. Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmän suojaus
IEC	International electrotechnical commission. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
$I_{imp}$	Lightning impulse current of SPD. Ylijännitesuojan mitoitussalamavirta (purkauskyyky), impulssivirta (10/350 $\mu$ s)
$I_{max}$	Maximum discharge current for class II operating duty test of SPD. Ylijännitesuojan virran huippuarvo luokan II toimintatestauksessa (8/20 $\mu$ s), $I_{max} > I_n$
$I_n$	Nominal discharge current of SPD. Ylijännitesuojan mitoituspurkausvirta (purkauskyyky) (8/20 $\mu$ s)
LEMP	Lightning electromagnetic pulse. Salaman sähkömagneettinen pulssi
LP	Lightning protection. Salamasuojaus
LPL	Lightning protection level. salamasuojaustaso
LPS	Lightning protection system. Salamasuojausjärjestelmä
LPZ	Lightning protection zone. Salamasuojausvyöhyke
SESKO	Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan standardisointijärjestö
SPD	Surge protective device. Ylijännitesuoja
$U_{oc}$	Open circuit voltage of CWG. Jännite-virtageneraattorin tyhjäkäyntijännite (1,2/50 $\mu$ s)
$U_p$	Voltage protection level of SPD. Ylijännitesuojan suojaustaso: valmistajan ilmoittama arvo, jonka pitää olla vähintään ylijännitesuojan liittimistä tietyissä testauksissa mitatun suurimman jännitteen hetkellisarvon suuruisen

## 1 Johdanto

Suomessa ukkosten salamatiheys eli niiden esiintymismäärä on pienempi kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa tai tropiikissa. Pienemmästä salamatiheydestä huolimatta salamavirtojen voimakkuudet ja virtajakaumat ovat samanlaiset kuin muuallakin maailmassa.

Salamat ovat ihmisille, eläimille ja rakenteille vaarallisia sähköisiä luonnonilmiöitä. Niiden epäloogisuuden vuoksi ei voida ikinä täydellä varmuudella sanoa, mihin salama iskee. Asuin- ja teollisuusrakennusten sähkö- ja tietoliikennejärjestelmät voivat altistua ukkosen aiheuttamalle suoralle salamavirralle, oikosulkuvirran jälkiaalloille sekä suurelle potentiaalierolle. Mikäli riittävää ukkosensuojausta ei ole otettu huomioon, voivat edellä mainitut häiriöt aiheuttaa merkittäviä vahinkoja sähkö- ja elektroniikkalaitteille.

Tässä työssä ukkossuojauksella tarkoitetaan rakennuksien ja niissä käytössä olevien sähkö- ja telejärjestelmien suojaamista ilmastollisten ylijännitteiden aiheuttamilta vahingoilta ja häiriöiltä. Työssä käydään läpi rakennusten sähköjakelu- ja telejärjestelmien ylijännitesuojausta standardin IEC62305-1...4 (kuva 1) näkökulmasta, perehdytään Suomessa käytössä oleviin standardeihin ja ylijännitesuojauksessa käytettäviin komponentteihin sekä käydään läpi ukkossuojauksen suunnitteluprosessissa huomioitavia asioita ja ukkossuojauksen tarpeen arvioinnin perusteita.

Insinööritöni toimeksiantaja on Granlund Oy, joka on Suomen johtava talotekniikan alan yritys. Yritys on toiminut alalla yli 50 vuotta ja sen päätoimialoja ovat talotekninen suunnittelu, kiinteistönpidon konsultointi- sekä suunnittelutyö ja kiinteistön ylläpidon ohjelmistojen kehitys ja myynti. Yrityksestä löytyy paljon erikoissuunnitteluun perehtyneitä työntekijöitä. Ukkossuojaukseen liittyvien suunnitelmapiirustuksien, työtapaselostuksien ja asiakirjojen laadintaa voidaankin pitää yhtenä yrityksen erikoissuunnittelun osana.

## 2 Suomessa voimassa olevat ukkossuojausstandardit

Kansainvälinen sähköalan standardoimisorganisaatio IEC (International electrotechnical commission) on julkaissut salamasuojausstandardeja vuodesta 1990 alkaen. Vuonna 2006 IEC:ltä julkaistiin uudistettu ja yhtenäistetty standardisarja IEC 62305 Protection against lightning. Samana vuonna julkaistiin myös eurooppalainen standardisarja EN 62305, joka muodostuu lyhyistä IEC:n standardisarjan osista. Vuonna 2011 standardisarjaa päivitettiin, ja version 2.0 osat käsittävät yhteensä 403 sivua. Standardisarja on kokonaisuudessaan englanninkielinen. [1, s. 5.]

### IEC 62305-1

Protection against lightning –  
Part 1: General principles

**Yleiset periaatteet**

### IEC 62305-2

Protection against lightning –  
Part 2: Risk management

**Riskienhallinta**

### IEC 62305-3

Protection against lightning –  
Part 3: Physical damage to structures and life hazard

**Rakenteiden  
vahingot ja hengenvaara**

### IEC 62305-4

Protection against lightning –  
Part 4: Electrical and electronic systems within structures

**Sisäiset sähkö- ja  
elektroniikkajärjestelmät**

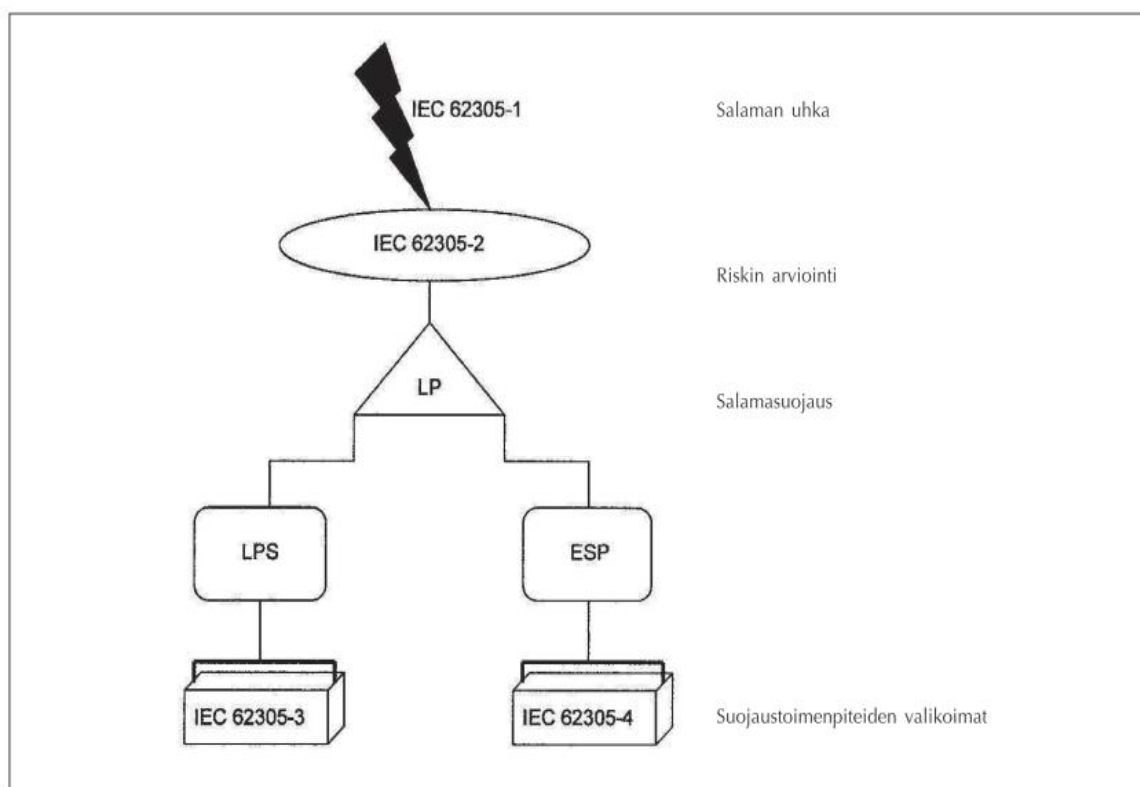
Kuva 1. IEC Standardisarjan osat ja suomennetut otsikot.

Suomessa voimassa olevat ukkossuojausta koskevat standardit ovat SFS-EN 62305-1 ... 4, jotka ovat käytännössä samat kuin IEC:n 62305-1 ... 4. IEC:n standardien perusteella vahvistetut EN-standardit ovat suosituksia. Ukkossuojausta rakennettaessa näitä standardeja tulisi kuitenkin noudattaa, sillä muita voimassa olevia standardeja ei ole käytettävissä.



Standardeissa esitetyt suojausohjeet eivät ole velvoittavia, vaikka tekstiä lukiessa voi helposti ymmärtää niin. Usein työn tilaaja tai viranomainen voi kuitenkin asettaa edellytyksen standardien tai rakennuskohtaisten vaatimusten täyttämiseksi. Tämän vuoksi sovellettavista vaatimuksista laaditaan yksityiskohtainen sopimus. Ukkossuojausta vaativissa kohteissa on yleisesti suositeltavaa noudattaa käytössä olevia standardeja ja varmistaa kohteen riittävä suojaus. [1, s. 4.]

Suomessa SESKO ry:n (Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan standardisointijärjestö) toimesta on valmisteltu SFS-käsikirja 609, joka esittelee suomeksi standardisarjan IEC 62305-1...4 pääpiirteet. 177 sivua pitkä käsikirja on julkaistu vuonna 2009, ja se korvasi aiemmin käytössä olleen SFS-käsikirja 33:n.



Kuva 2. Standardisarjan IEC EN 62305 sisällön lohkokaavio. LP on salamasuojaus, LP (Lightning protection = salamasuojaus), LPS (Lightning protection system = salamasuojausjärjestelmä), ESP (Electrical and electronic system protection = sähkö- ja elektroniikkajärjestelmän suojaus)

### 3 Ukkonen sääilmiönä

#### 3.1 Ukkonen

Ukkospilven sähköistyminen tapahtuu, kun mikrojääkiteet nousevat ylös voimakkaan pystyvirtauksen mukana ja joutuvat hankaukseen vastatuulella leijuvien lumirakeiden kanssa. Hankaaminen aiheuttaa sähkövarauksia, jotka lopulta purkautuvat pilvestä salamointina. Aluksi purkautuminen tapahtuu pilven sisällä pilvisalamointina, ja myöhemmin pilven kasvaessa alkaa esiintyä myös maasalamointia. Maasalamat alkavat haarautua, ja haarautumisen yhteydessä jokaisen haaran mukana leviää paineaalto, jonka havaitsemme jyrinänä. [2]

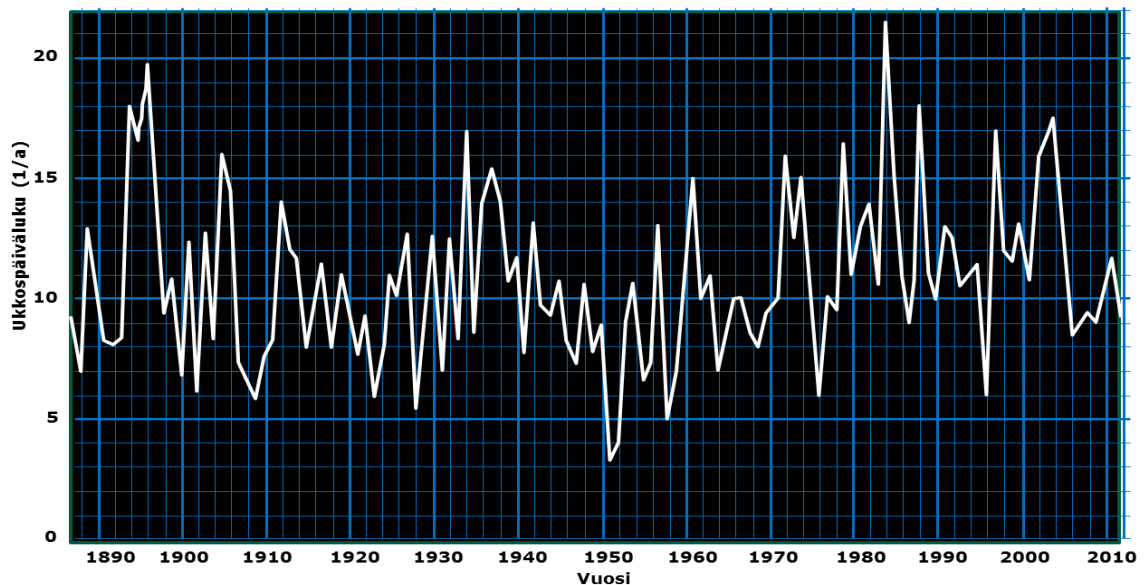
Maasalamoiden määrää voidaan arvioida seuraavasti kuvassa 3 esiintyvää käyrästä hyödyntäen:

$$N = \frac{1}{(a * km^2)} NG = 0,1 * T_D \quad (IEC 62305 - 2, Annex A, kohta A1)$$

$T_D$  on ukkospäivien määrä vuodessa  $\left(\frac{1}{a}\right)$

$NG$  on keskimääräinen maasalamatiheys

$N$  on salamaniskujen lukumäärä



Kuva 3. Ukkospäivät Suomessa vuosina 1887--2009 [3].

Ukonilmat voidaan jakaa kahteen yleiseen tyyppiin niiden syntytapojen perusteella: ilmamassaukkosiin ja rintamaukkosiin. Erona näillä kahdella tyyppillä on niiden erilaiset tasapainotilan epävakaudet.

### 3.1.1 Ilmamassaukkonen

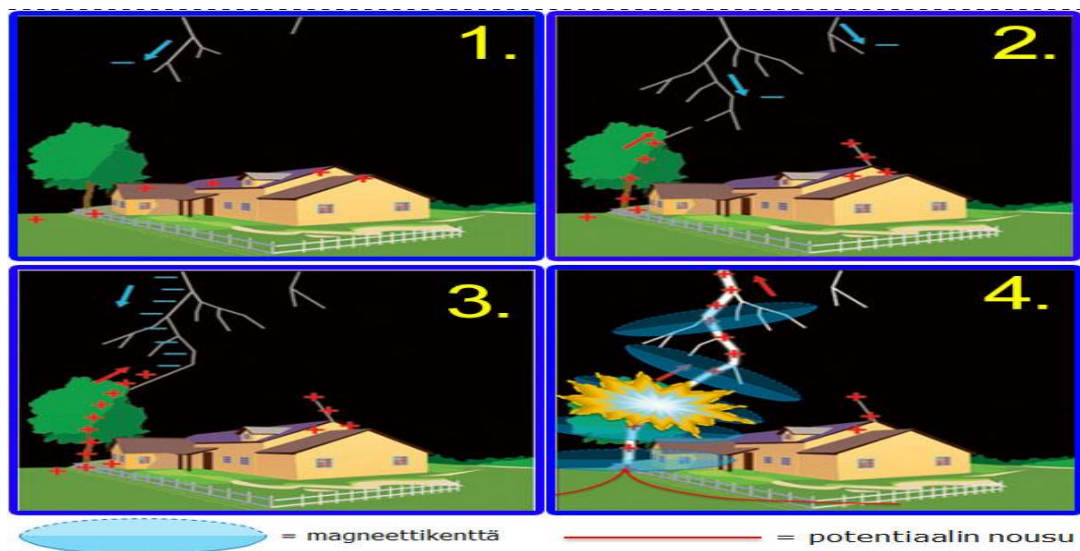
Selvimmän erottuvat yksittäiset ukkospilvet esiintyvät niin sanotuissa ilmamassaukkosissa. Nimitys johtuu siitä, että maanpinnalla vallitsee ukkosen jälkeen sama ilmamassa kuin sitä ennen. Auringon lämpö maanpinnan tuntumassa voi laukaista nousuvirtaukset. Erityisesti nouseva maasto, vuorokauden ajankohta sekä esimerkiksi kylmän ilman ”pisaran” virtaaminen lämpimän ja kostean pintailman yläpuolelle voivat olla laukaisevia tekijöitä. Ilmamassaukkosen synty tapahtuu esimerkiksi auringonpaisteen voimakkaan lämmityksen ansiosta, näin ollen kosteasta ilmasta muodostuneet kumpupilvet kasvavat korkeutta ja muuttuvat kuuro- ja ukkospilviksi. Tällaisia ukkosia esiintyy Suomessa suhteellisen vähän, ja niiden synty tapahtuukin pääsääntöisesti tropiikissa. [4]

### 3.1.2 Rintamaukkonen

Rintamaukkosen voimanlähteenä toimii rintaman eri puolilla olevien erilaisten ilmassojen keskinäinen liike, joka aiheuttaa lämpimän ilman nousun. Rintamaukkosissa nousuvirtausten pääasiallinen käyttövoima tulee ilmassojen eroista. Suomen oloissa rintamia muodostuu, kun pohjoisen kylmä ja kuiva sekä etelän lämmin ja kostea ilmamassa joutuvat kosketuksiin. Massat virtaavat yleensä lännestä itään, ja virtauksessa massojen rajapinta sekä rintama muodostavat mutkia, joihin kehittyy matalapaineita. Ukkonen syntyy parhaiten kylmään rintamaan, jossa tiheä ja kylmä ilma painuu lämpimän ja kostean ilman alle näin saaden sen nousemaan. Maanpinnan ominaisuuksilla ei ole suurta vaikutusta rintamaukkosen syntyyn. [5, s. 18—19.]

### 3.2 Salamat

Salamat jaetaan yleisesti kahteen päätyyppiin, pilvisalamosiin ja maasalamosiin. Maasalama iskee pilven ja maan välillä, kun taas pilvisalama neutraloi varausta pilven erinäpaisten varauskeskusten välillä. Molemmilla tyypeillä on pilvensisäisiä purkauksia ja joskus pilven ulkopuolelle ilmaan ulottuvia, mutta vain maasalamalla on lisäksi maahan päättävä maaiskukanava. Maasalamat on helpompi havaita silmin kuin pilvisalamat. Pilvisalamosista voidaan silmin nähdä usein vain pieni kajastus pilven sisällä. Suomessa pilvisalamosia esiintyy 1—2 kertaa maasalamosia enemmän, ja trooppisissa niitä voi esiintyä jopa kuusinkertainen määrä maasalamosiin verrattuna. Maasalamosista 85—90 % on negatiivisia ja 10—15 % positiivisia. [5, s. 47—48.]



Kuva 4. Salaman eteneminen.

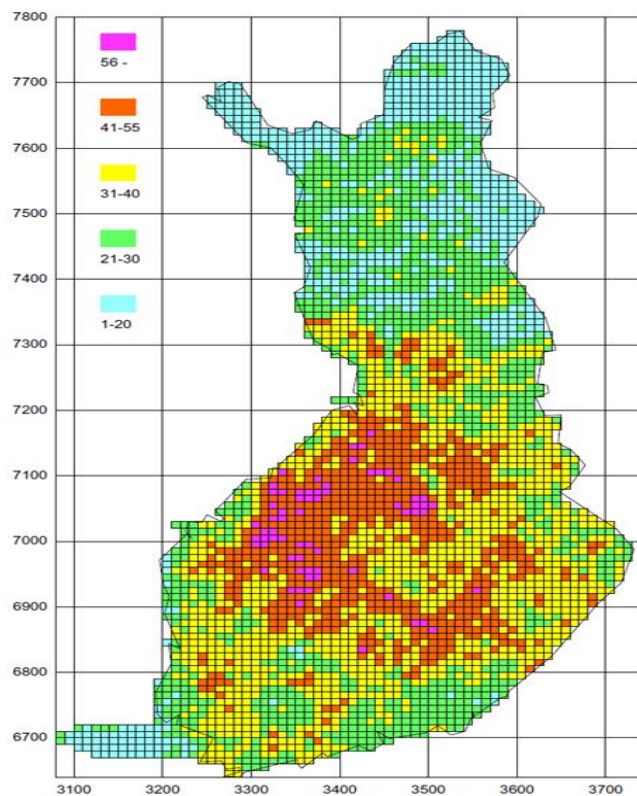
1. Esipurkaus — pilvestä kohti maata etenee askelittain ja haaroittuen.
2. Esipurkaus — lähestyy pilvestä maata, jolloin influenssin vaikutuksesta maanpinnan korkeisiin kohtiin kerääntyy positiivista varausta, joka hakeutuu esipurkausta kohti. Sähkökentän voimakkuus kasvaa.
3. Vastapurkaus + maasta kohti esipurkauskanavan alapäätä alkaa.
4. Pilvestä alkanut esipurkaus — ja maasta tuleva vastapurkaus + kohtaavat, jolloin suurivirtainen pääsalama syntyy.

### 3.2.1 Salamatiheys

Suojaamisen tarvetta määriteltäessä salaman tärkein ominaisuus on sen esiintymistiheys. Salamointi voi Suomessa olla yksittäistapauksissa rajua, mutta silti Suomessa ja pohjoismaissa salamoiden esiintyminen on suhteellisen vähäistä verrattuna Etelä- ja Keski-Eurooppaan. Esimerkiksi Saksassa salamatiheys on noin 10-kertainen verrattuna Suomeen.

Suomessa salamatiheys on keskimäärin 39 maasalamaa//100 km<sup>2</sup> vuodessa. Salamatiheyden alueellisesti tyypilliset keskiarvot ovat: Lapissa 15, Keski-Suomessa 50 ja etelärannikolla noin 30 salamaa//100 km<sup>2</sup> vuodessa (kuva 5). Lapissa vähäiseen salamointiin vaikuttaa ukkoskauden lyhempi kesto.

Salamatiheyksien vaihtelut ovat erittäin suuria. Esimerkiksi paikallinen salamatiheys yli 1 kpl/km<sup>2</sup> yhden tunnin kestävän salamoinnin aikana ei ole harvinaista, koko maan keskiarvon ollessa 0,4 kpl/km<sup>2</sup> vuodessa. Myös vuosittaiset vaihtelut ovat suuria.



Kuva 5. Salamatiheys Suomessa vuosina 1998—2011. Yksi ruutu 10 km x 10 km. [6, s. 48.]

### 3.2.2 Pilvisalamat

Pilvisalamassa esipurkaus syntyy varausten välisestä alueesta kasvaen alaspäin positiivisena kohti negatiivista varausta ja ylöspäin negatiivisena kohti positiivista varausta nopeudella 100 km/s. Alemman pään löydettyä tarpeeksi negatiivista varausta, purkaus alkaa syöksyä kanavaan ja sen yläpäähän neutraloimaan positiivista aluetta. Näitä purkauksia esiintyy nopeasti peräkkäin noin kymmenen, ja pilvisalaman kesto on yleensä noin puoli sekuntia. [7]

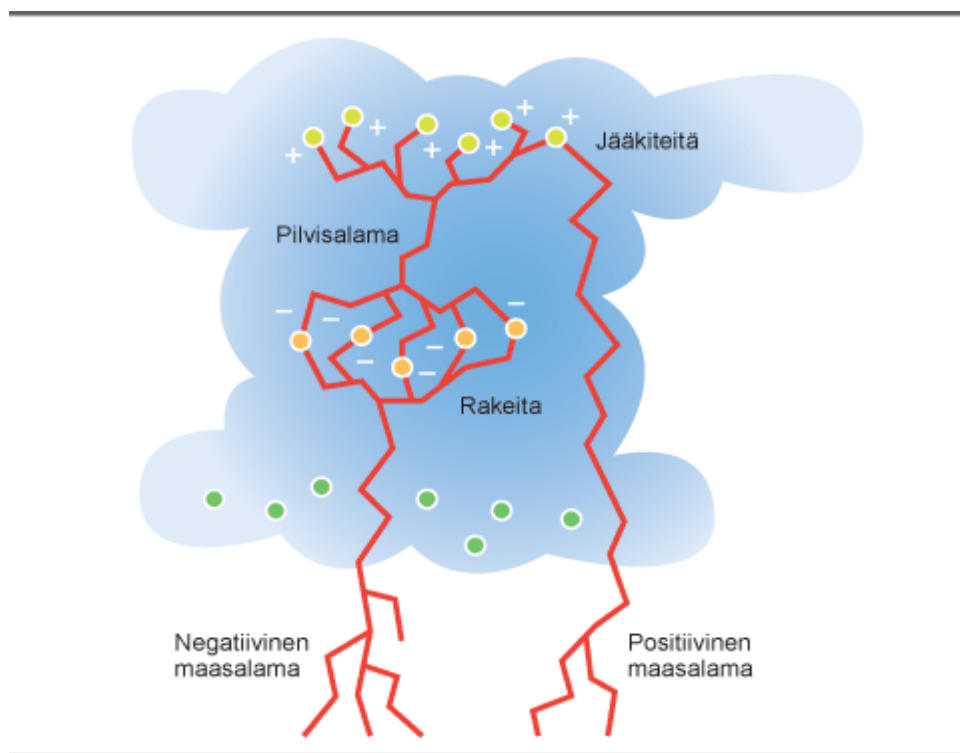
### 3.2.3 Negatiivinen maasalama

Negatiivinen maasalama on pilvestä maahan lyöivistä maasalamalajeista tyypillisin. Salamatyypin suunta määritellään sen mukaan, mihin suuntaan kasvaa esisalaman kanavan se pää, joka on kosketuksissa maahan tai maassa olevaan iskukohteeseen.

Kanava kasvaa kaksisuuntaisesti, mutta sen yläpää on piilossa pilven sisällä, jolloin näkyvissä on pelkästään pilvestä alaspäin kasvava kanavan alapää. Esisalaman kehittyminen on niin hidasta, että pilven alapuolella näkyvän osan kesto on 0,01 sekuntia, jolloin katsoja ehtii huomata sen etenemissuunnan. Tavallisesti positiivinen esisalama voi lähteä kehittymään myös alhaalta ylöspäin korkeista vuoren huipuista tai 300 metrin korkuisista mastoista, jolloin sen kasvu on yksisuuntaista. [5, s. 55—56.]

### 3.2.4 Positiivinen maasalama

Positiivinen maasalama saa alkunsa pilven positiivisesta varausalueesta tai sen läheisyydestä. Positiivinen maasalama etenee negatiivista esisalamaa noin kymmenen kertaa nopeammin askeltamatta ja vähemmän haaroittuen. Kanavan negatiivinen yläpää on tehottomampi etsimään uusia varauksia, joten ensimmäinen pääsalama jää monesti ainoaksi salamaksi. Positiivisten salamoiden määrä on suurin ukkosen loppupuolella, kun negatiivinen varauskeskus on pääosin ehtynyt negatiivisen salamoinnin sekä satamisen vaikutuksesta. Positiivisista maasalamoista 90 % on yksi-iskuisia. [7]



Kuva 6. Salamoiden lajit esitettynä pilvessä. [7]

## 4 Ylijännitteet

Sähköverkon osissa käytettävien sähkökoneiden ja -laitteiden eristysrakenteita rasittavat jatkuva käyttöjännite sekä eri syistä aiheutuvat ylijännitteet. Ylijännitteeksi nimitetään jännitettä, joka ylittää kyseessä olevalle eristysrakenteelle tarkoitetun spesifisen referenssiarvon. [8, s. 243.] Ylijännitteet jaotellaan kahteen eri luokkaan:

**Pitkäaikaisiin ylijännitteisiin**, joissa ylijännitetaso on yleensä melko matala, mutta ylittää kuitenkin jännitetoleranssin maksimiarvon.

**Lyhytaikaisiin eli transienttiylijiännitteisiin**, joiden transienttien kesto on ainoastaan sekunnin murto-osia, mutta ne voivat nousta kymmeniin tai satoihin megavoltteihin. Lyhytaikaiset ylijännitteet aiheutuvat yleisimmin sähköverkon tilanmuutoksista esimerkiksi suurten sähkökoneiden kytkennöistä tai sähköverkon maa- tai oikosuluista. [9, s. 117.]

### 4.1 Lyhytaikaiset ylijännitteet

Transienttiylijiännitteet eli äkilliset, lyhytaikaiset ylijännitteet johtuvat ukkosen aiheuttamasta salamasyöksystä tai suurien sähkökuormien kytkentätoimenpiteistä. Suojaamattomassa verkossa nämä voivat aiheuttaa suuriakin tuhoja laitteissa. Tärkeinä tekijöinä ovat ylijännitteen amplitudi ja nousuaika (kuva 7).

Energialtaan suurimmat ylijännitteet ovat salamoiden aiheuttamia (LEMP, lightning electromagnetic pulse). Verkossa esiintyviin kytkentäpiikkeihin nähden näitä esiintyy kuitenkin huomattavasti vähemmän, mutta salamoiden aiheuttamat tuhot ovat merkittävästi suuremmat niiden suurien energiavarausten vuoksi.

Mikäli ukkossuojaus on suunniteltu ja asennettu oikein ja järjestelmän maadoitus on riittävä, pystytään suurin osa ukkosylijiännitteistä rajoittamaan. Tällöin verkossa kytkettyinä olevien laitteiden syöksyjännitekestoisuudet eivät ylitä vikatilanteessa. [9, s. 119.]



### Virran nousunopeus aiheuttaa suuren häviön

$$u = \frac{di}{dt} * L + i * R$$

Tarkastellaan vain induktiivista jännitehäviötä  
 $\frac{di}{dt} * L$

Suoran johtimen induktanssi (L) on noin 1  $\mu\text{H/m}$

Standardin mukainen virran maksimi nousunopeus ( $\frac{di}{dt}$ ) on 200  $\text{kA}/\mu\text{s}$

Virran muutoksen aiheuttama jännitehäviö (u) 1 m pituisessa johtimessa on:

$$u = \frac{200\,000\,\text{A} \times 0,000\,001\,\text{H}}{0,000\,001\,\text{s} \times 1\,\text{m}} = 200\,\text{kV/m}$$

Kuva 7. Esitetty salamavirran nousunopeuden  $\frac{di}{dt}$  (salamavirran muutosnopeus) merkitys

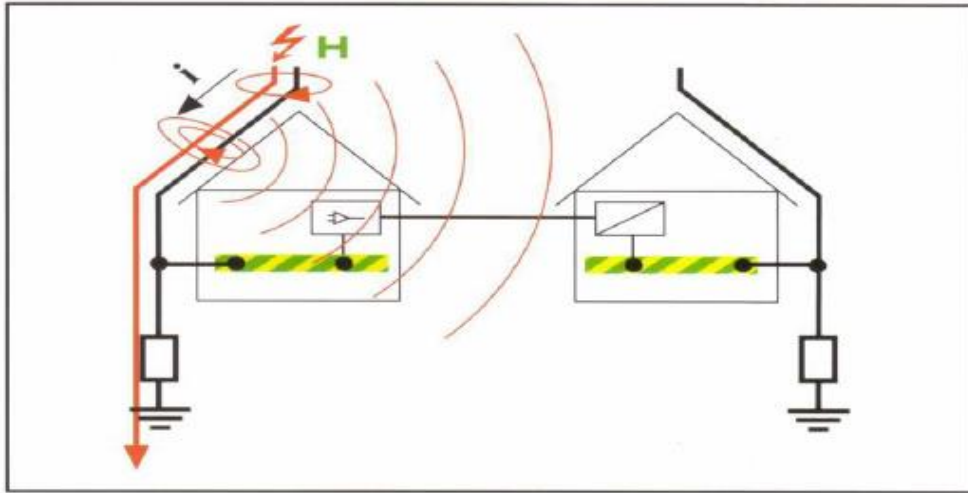
#### 4.2 Induktiiviset, galvaaniset ja kapasitiiviset kytketytymiset

Salamavirtojen suurien amplitudien ja nousunopeuksien vuoksi vahingot eivät rajoitu laitteisiin, jotka ovat suorassa galvaanisessa kosketuksessa virtajohtimiin. Suorassa salamaniskussa transientteja voi syntyä myös induktiivisen ja kapasitiivisen kytketytymisen vuoksi.

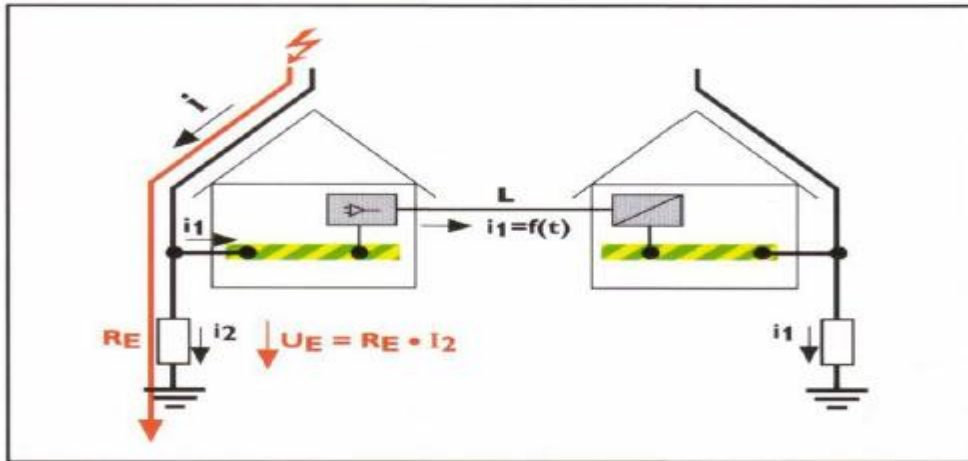
Transientin galvaaninen kytketytyminen saattaa tapahtua salamaniskusta syöttöjohtoon, suorasta salamaniskusta rakennukseen tai sen lähimaastoon. Tämän seurauksena maapotentiaali nousee vaihejännitettä suuremmaksi.

Salamavirran nousunopeus aiheuttaa johtimen ympärillä voimakkaan magneettikentän, joka indusoi vieressä oleviin johdinsilmukoihin ylijännitettä. Transientit, jotka ovat indusoituneet, saattavat olla erittäin haitallisia pienellä nimellisjännitteellä toimiville laitteille.

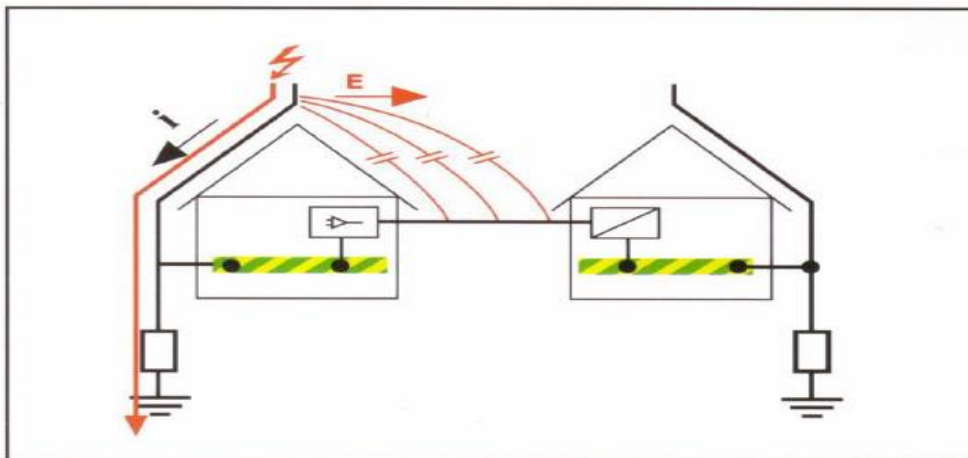
Kapasitiivinen kytketytyminen johtuu kahden pisteen voimakkaasta jännitepotentiaalierosta, jonka seurauksena pisteiden välille muodostuu sähkökenttä. Ukkospurkauksen seurauksena ukkosenjohdattimeen syntyy korkea jännitepotentiaali. Jännite muodostaa sähkökentän ukkosenjohdattimen ja muiden osien välille, joiden jännitepotentiaali on matalampi. Tällaisia voivat olla esimerkiksi virransyötön ja signaalinsiirron tai laitteiden johdot rakennuksen sisäpuolella. Seurauksena on varauksen siirtyminen sähkökentän läpi, mikä johtaa jännitteen nousemiseen tai ylijännitteeseen kyseessä olevissa johdoissa tai laitteissa. [9, s. 119—120].



Kuva 8. Induktiivinen kytkentä tapahtuu magneettikentän kautta, joka syntyy johtimessa kulkevan virran aiheuttamana. Magneettikenttä indusoi jännitepiikin läheisyydessä oleviin virtasilmukoihin. [9, s. 120.]



Kuva 9. Galvaanisesti ylijännitteet kytkeytyvät häiriölähteestä kohdelaitteeseen yhteisiä impedansseja pitkin. Johtimien induktansseissa syntyvät syksyvirran nopeudesta riippuva ylijännitteen induktiivinen osa  $U_L = L \cdot di/dt$  [9, s. 120.]



Kuva 10. Kapasitiivinen kytkentä tapahtuu kahden eri potentiaalissa olevan pisteen välillä. [9, s. 121.]

### 4.3 Laitteiden ylijänniteluokitukset

Ilmaston aiheuttamat ylijännitteet eivät pienene suuresti mentäessä sähkölaitteiston asennuksessa syöttöpisteestä kuormituksen suuntaan. Ylijänniteluokituksien avulla voidaan arvioida laitteiden käytettävyyttä huomioiden vaaditun toiminnan jatkuvuus ja hyväksyttävä vikariski. Laitteiden ylijänniteluokan valinnalla voidaan saavuttaa eristyskoordinaatio koko asennuksessa sekä saada vioittumisriski riittävän pieneksi ja ylijännitteet hallintaan.

Ylijänniteluokittelussa (taulukko 1) korkeampi ylijänniteluokan tunnusnumero tarkoittaa laitteen suurempaa hetkellistä ylijännitteen kestoisuutta. Korkeampi ylijänniteluokan tunnusnumero mahdollistaa useampien menetelmien käyttämisen ylijännitteiden torjumiseksi. Ylijänniteluokitusta käytetään suoralla verkkosähköllä käytettyihin laitteisiin. [10, s. 6.]

**Taulukko 1. Laitteiden ylijänniteluokkien määrittely. Suurempi tunnusnumero tarkoittaa suurempaa hetkellistä ylijännitteen kestoisuutta. [10, s. 6.]**

Laitteiden ylijänniteluokka	Laitteen asema sähkölaitteistossa	Laitteen asennuspaikka
I	Kiinteä sähköverkko	Eristyssuojatut laitteet - laitteen ulkopuolelle - kiinteässä asennuksessa - kiinteän asennuksen ja laitteen välissä
II	Kiinteään sähköverkkoon liitettäväksi tarkoitettu laite	Kulutuskojeet - kädessä pidettävät työkalut, kojeet - kotitalouskojeet
III	Laite osa kiinteää sähköasennusta	Pää- ja ryhmäjohtojen laitteet - kiinteään asennukseen - jakokeskukset - kiinteästi asennetut moottorit
IV	Laitetta käytetään asennuksen syöttöpisteessä tai sen läheisyydessä pääkeskuksen syötön puolella	Syöttöpisteympäristö - sähkömittarit - ensiupuolen ylivirtasuojalaitteet - yliaaltojen rajoituslaitteet

## 5 IEC 62305-2: Ukkosvahingot ja -menetykset

Rakennukseen osuva salama saattaa vahingoittaa itse rakennusta sekä siellä olevia ihmisiä ja kohteita kuten rakennuksen toiminnalle tärkeitä teknisiä järjestelmiä. Vauriot eivät välttämättä rajoitu pelkästään rakennukseen, vaan saattavat levitä myös rakennuksen ulkopuolelle ja lähiympäristöön. Sekä rakennuksen että salaman ominaisuudet vaikuttavat ukkosvahinkojen laajuuteen.

### 5.1 Salamaparametrit

Salamasuojauksen vaatimukset ja kriteerit päätetään yleisesti salamatilastojen perusteella. Standardisarja IEC 62305 luokittelee salamasuojauksen tasot (LPL, Lightning protection level) neljään vaativuusluokkaan taulukon 2 mukaisesti suojausrakenteiden valintaa ja mitoittamista, suojeltavien kohteiden analysointia ja suojauskomponenttien testausta silmällä pitäen. [1, s. 22.]

**Taulukko 2. Salamaparametrien maksimi- ja minimiarvot eri suojaustasoilla**

LPL	Salamavirran min. arvo	Salamavirran max. arvo	Sieppaustodennäköisyys
I	3 kA	200 kA	98 %
II	5 kA	150 kA	95 %
III	10 kA	100 kA	88 %
IV	16 kA	100 kA	78 %

Saksalaisen vakuutusyhtiöiden liiton VdS:n (Vereinigung der Sachversicherer) antamat suojaustasot eri rakennuksille ovat seuraavanlaiset [11, s. 14.]:

#### LPL I

- Ydinvoimalat
- EX- tilat
- IT- keskukset

**LPL II**

- Kemianteollisuus
- Sairaalat
- Tietoliikennemastot
- Kerrostalot korkeus>100m

**LPL III**

- Konttorit
- Koulut, hotellit
- Museot, kirkot
- Liikekeskukset
- Kerrostalot korkeus>22m

**LPL IV**

- Muut

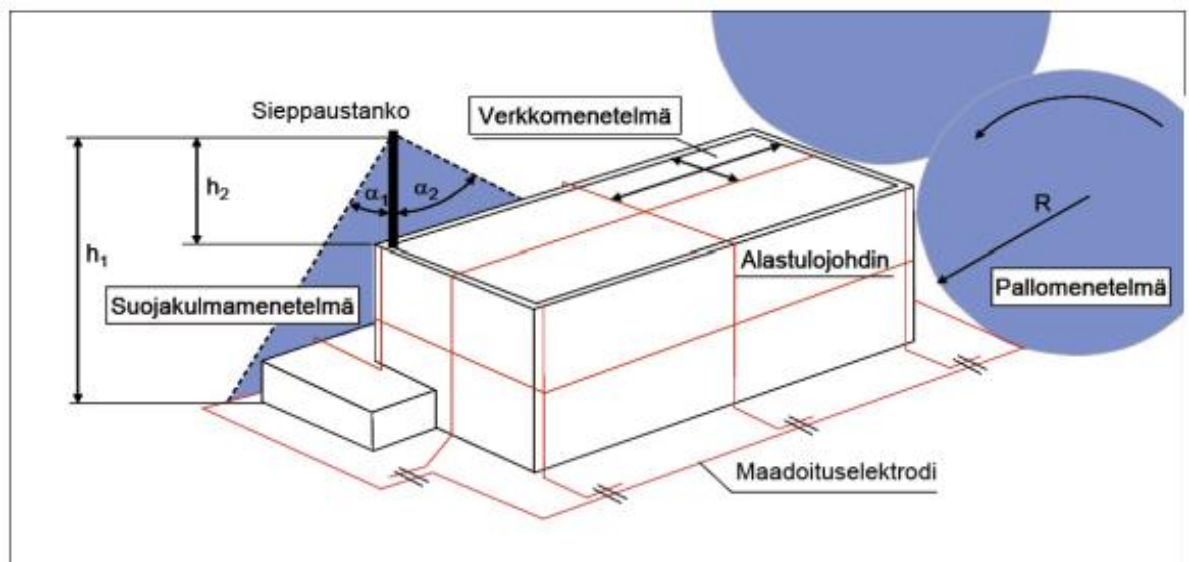
Huomioitavaa on, että standardisarjan IEC 62305 vaatimukset ja ohjeet eivät kata suojausta salamoilta, joiden parametrit ylittävät taulukon 2 LPL I -luokan arvot. Standardisarja ei myöskään ota huomioon suojausta salamoilta, joiden virta alittaa LPL I -luokan minimiarvon. Standardisarjan vaatimusten mukaisesti suunniteltu ja rakennettu suojaus ei välttämättä riitä suojaamaan rakennusta ja sen palveluita kaikkien salamoiden vaikutuksilta, vaikka virtajakaumat olisivat oikeat. [1, s. 24.]

## 5.2 Pallomenetelmän käyttö erilaisilla LPL -tasoilla

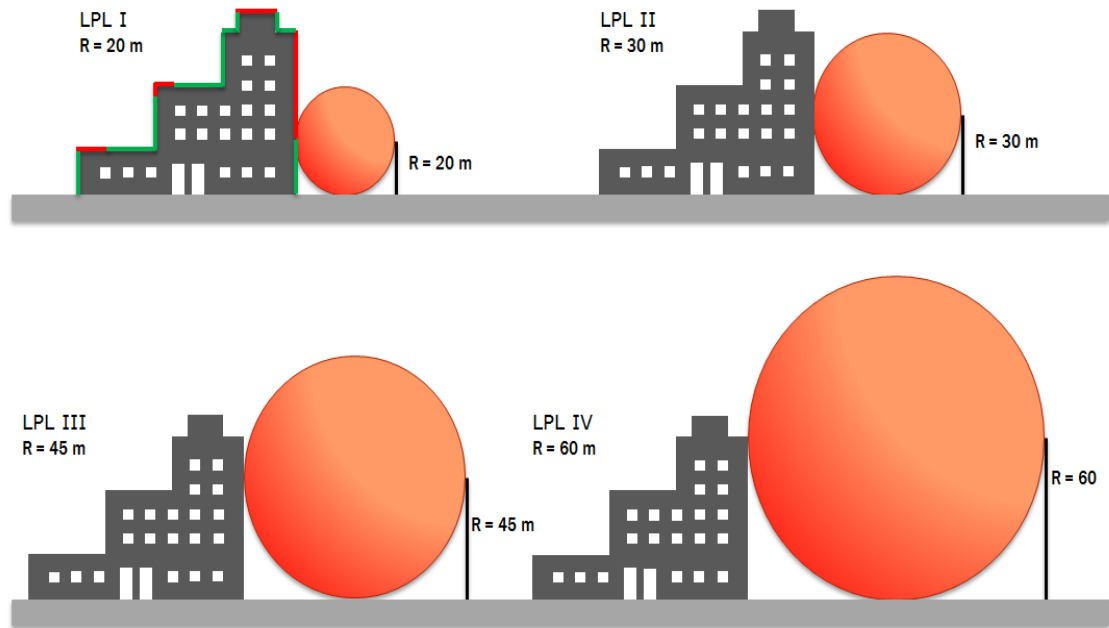
IEC on määritellyt kolme menetelmää (kuva 11) salamanvangitsijan sijoittamiselle: suojauskulmamenetelmä, pallomenetelmä ja verkon kokoon perustuva menetelmä.

Verkkomenetelmässä katto jaetaan määriteltyihin samankokoisiin osiin verkoksi. Suojakulmamenetelmä perustuu suojattavaan kulmaan, joka on yleensä 45 astetta ukkos-suojauksen ja suojattavan kohteen välille.

Pallomenetelmän idea on, että pallo jonka säde on  $r$ , vieritetään suojattavan rakenteen ympäri tai yli kunnes se kohtaa maatasen tai maahan pysyvästi kosketuksissa olevan kohteen. Kohdat, joissa pallo on koskenut rakennusta tai rakennetta, ovat potentiaalisia iskukohteita. Suojattuina alueina pidetään suojauskulman sisään jääviä alueita. Pallomenetelmää (kuva 12) on hyvä käyttää suojauskulman sijasta, kun esimerkiksi rakennuksella on monimutkainen muoto tai suojauskulmalle ei ole annettu suositusarvoja. [9, s. 62—63.]



Kuva 11. Kuvassa esitetty salamanvangitsijan sijoittamisen menetelmät. Pallomenetelmän säde  $R$ . a) Mitä pienempi pallon säde  $R$  on, niin sitä ahtaampiin paikkoihin suora salamanisku voi osua. b) Säde  $R$  kuvaa etäisyyttä esipurkauksen viimeisen askeleen ja maahaniskukohdan välillä. [11, s. 15.]



Kuva 12. Pallomenetelmän käyttö erilaisilla LPL-tasoilla.

### 5.3 Salaman iskukohta (Source)

Standardi IEC 62305-2 määrittelee salaman iskukohdan neljään eri luokkaan, joita tarvitaan riskilaskentaa tehdessä:

**S1: salama rakennukseen**, joka voi aiheuttaa seuraavia häiriöitä:

- suoran mekaanisen vaurion
- tulipalon tai räjähdysen vaaran johtimien kuumentuessa
- tulipalon tai räjähdysen resistiivisten ja induktiivisten ylijännitteiden aiheuttaman kipinöinnin seurauksena
- ihmisten tai eläinten vahingoittumisen resistiivisen ja induktiivisen kytkennän aiheuttamien kosketus- tai askeljännitteiden seurauksena
- sisäisten järjestelmien rikkoutumisen tai virhetoiminnan salaman sähkömagneettisen pulssin vaikutuksesta.

**S2: rakennuksen läheisyyteen**, joka voi aiheuttaa seuraavia häiriöitä:

- sisäisten järjestelmien rikkoutumisen tai virhetoiminnan sähkömagneettisen pulssin vaikutuksesta

**S3: rakennukseen liitettyihin palveluihin**, joka voi aiheuttaa seuraavia häiriöitä:

- tulipalon tai räjähdysen ylijännitteiden ja palveluliittymää pitkin kulkevien salamavirtojen aiheuttaman kipinöinnin takia
- ihmisten tai eläinten vahingoittumisen palveluliittymää pitkin kulkevien salamavirtojen rakennuksen sisällä aiheuttamien kosketusjännitteiden takia
- sisäisten järjestelmien rikkoutumisen tai virhetoiminnan liittymisjohtoja pitkin rakennukseen johtuvien ylijännitteiden vaikutuksesta

**S4: rakennukseen liitettyjen palveluiden läheisyyteen**, joka voi aiheuttaa seuraavia häiriöitä:

- sisäisten järjestelmien rikkoutumisen tai virhetoiminnan liittymisjohtoihin induoituneiden ja rakennukseen siirtyvien ylijännitteiden vaikutuksesta

#### 5.4 Vahinkolajit (Damage)

Vahinkolajit on määritelty standardissa IEC 62305-2 seuraavasti:

- D1: ihmisten tai eläimen vahingoittuminen kosketus tai askeljännitteestä
- D2: salmavirran tai kipinöinnin aiheuttama tulipalo, räjähdys, mekaaninen vaurio tai kemiallinen päästö
- D3: salaman sähkömagneettisen pulssin (LEMP) aiheuttama sähkö- ja elektroniikkajärjestelmän vika ylijännitteen vaikutuksesta.

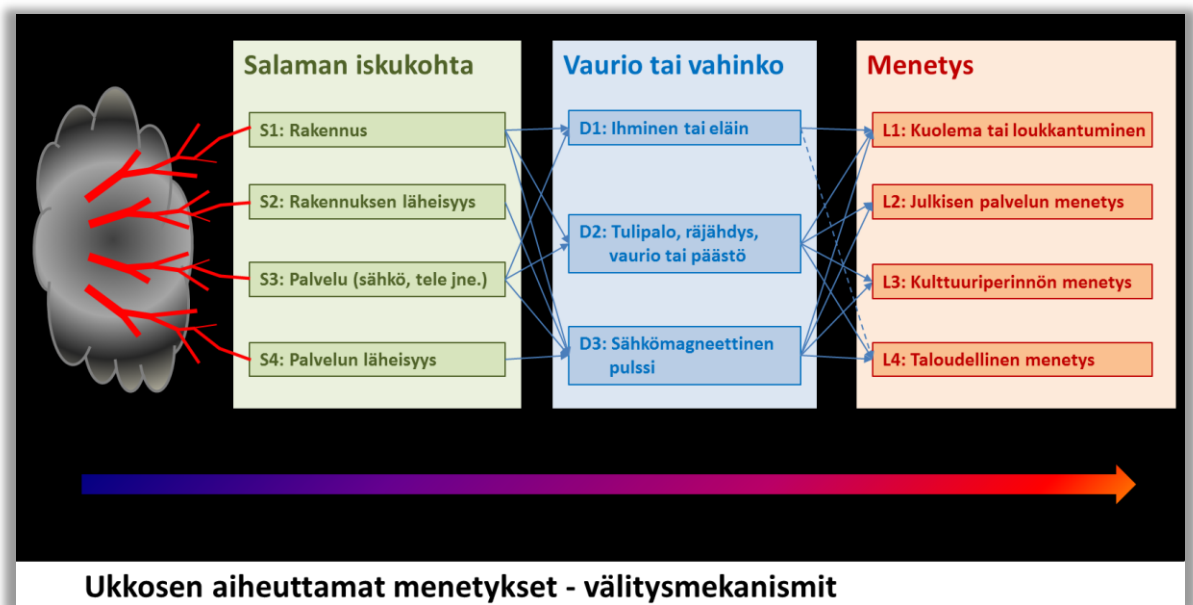
#### 5.5 Menetyslajit (Loss)

Kaikki neljä määritettyä salaman iskukohtaa voivat yksin tai yhdessä aiheuttaa erilaisia menetyksiä suojattavassa kohteessa. Mahdollinen menetyksen tyyppi riippuu iskukohdan ominaisuuksista. Standardissa IEC 62305-2 on määritetty neljä erilaista menetystyyppiä, joista kolme ensimmäistä standardia luokittelee sosiaalisten arvojen menetykset ja neljäs pelkästään taloudellisia menetyksiä.



Menetyslajit ovat seuraavanlaiset:

- L1: hengen menetys
- L2: julkisen palvelun menetys
- L3: kulttuuriperinnön menetys
- L4: taloudellinen menetys (rakennus ja sen sisältö, palvelujen ja toimintakyvyn menetys). [1, s. 30.]



Kuva 13. Menetyksiin johtava vaikutusketju [12, s. 35.]

## 6 Suojakomponentit ja materiaalit

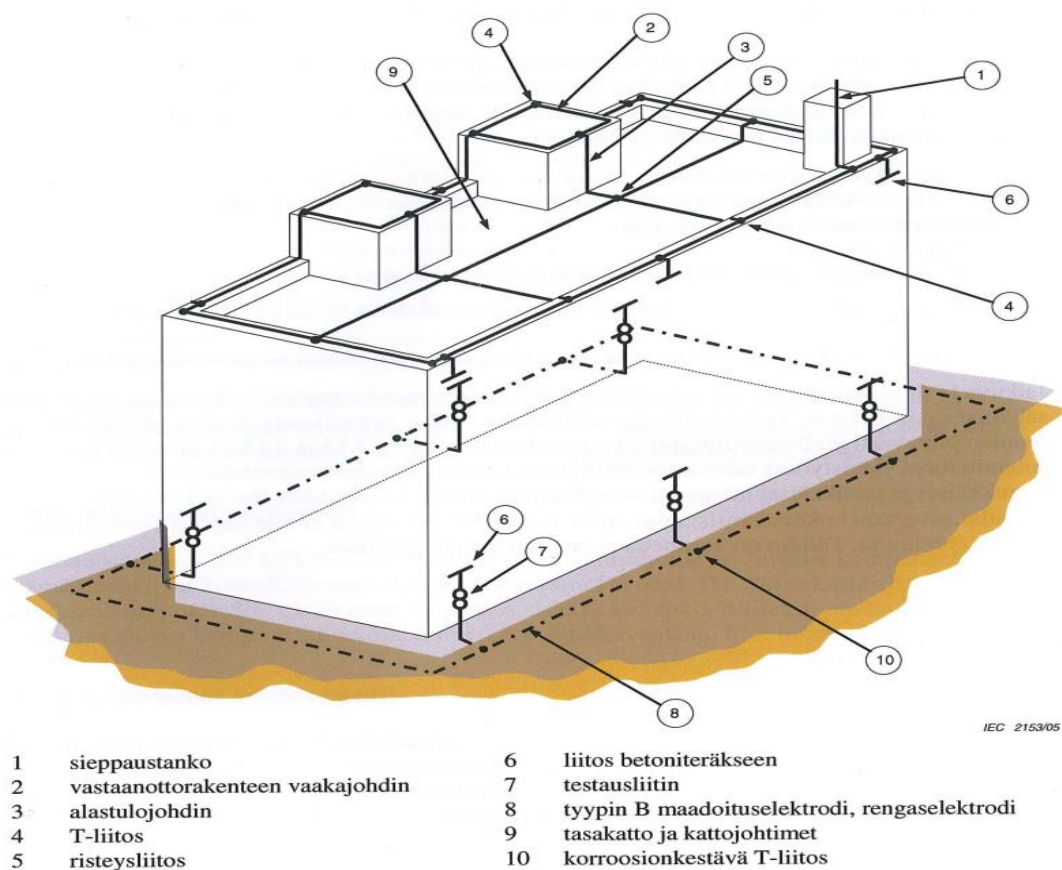
Salamasuojauksen komponentit on mitoitettava ja testattava kohteessa odotettavissa olevia rasituksia vastaaviksi. Salamasuojausjärjestelmään (kuva 14) liittyvät materiaalit ja johdinkomponentit köydet, tangot, putket, levyt, kiinnikkeet ja liittimet ovat alttiita kuumenemisen, sähködynaamisten voimien ja korroosion vaikutuksille ja rasituksille. Myös komponentteihin kohdistuviin odottamattomiin vahinkoihin on varauduttava esimerkiksi mekaanisella suojalla.

Rakennuksen ulkoisessa suojauksessa käytetään materiaaleina pääasiassa kuuma-sinkittyä terästä, ruostumatonta terästä, kuparia ja alumiinia. Korroosiovaara kasvaa,

kun koostumukseltaan erilaisia raaka-aineita liitetään toisiinsa. Korroosiovaaran vuoksi sinkittyjen pintojen tai alumiiniosien päälle ei saa asentaa kupariosia, koska sade tai muut ympäristövaikutukset voivat levittää kuparihiukkasia sinkityille pinnoille. Nämä liitokset myös muodostavat galvaanisen parin, mikä lisää korroosion riskiä.

Materiaalien valinta on erityisen tärkeää, maadoituksia ja niihin liityntää suunniteltaessa. Korroosiokysymykset on hyvä pitää mielessä myös vastaanottorakenteiden ja alastulojohtimien suunnittelussa. Salaman vastaanottorakenteen johtimet on mitoittettava valitun suojausluokan maksimivirrälle. [1, s. 86.]

Vastaanottorakenteen ja alastulojohtimien metalliasennusten ja sisäisten järjestelmien välinen sähköinen eristys on riittävä, kun niiden välinen etäisyys on suurempi kuin vaadittava erotusväli.



**Kuva 14.** Kuvassa esitettynä teräsbetonirakenteet alastulojohtimina. Riittävä johtavuus on varmistettava luotettavilla liitoksilla tai hitsaamalla. [1, s. 88.]

## 6.1 Luontaiset komponentit

Alastulojohtimien on oltava asennettu mahdollisimman tasavälein ja symmetrisesti rakennuksen eri puolille. Kaikki alastulojohtimet on yhdistettävä suoraan maadoituselektrodiin. Maadoituselektrodin tehtävänä on johtaa alastulojohtimia pitkin tuleva virta maaperään, estää vaarallisten jännitteiden synty sekä estää ihmiselle, eläimille, laitteille ja ympäristölle vaarallisten potentiaalierojen syntyminen.

Vastaanottorakenteena ja alastulojohtimina voidaan ja on suositeltavaa käyttää pysyviä johtavia rakenteita, kuten esimerkiksi metallisia katto- ja julkisivurakenteita. Rakenteiden valinnan edellytyksenä on, että rakenteet täyttävät standardin EN 62305 määrittelemät materiaalivahvuudet. Myös jatkuva teräsbetonirakenne voi olla alastulojohtimena, mikäli raudoitukseen on asennettu lattajohdin käyttöön tarkoitettu liittimin. Luontaisten suojauskomponenttien käyttö on halpaa ja se mahdollistaa tehokkaan suojauksen minimikustannuksin. [1, s. 86.]

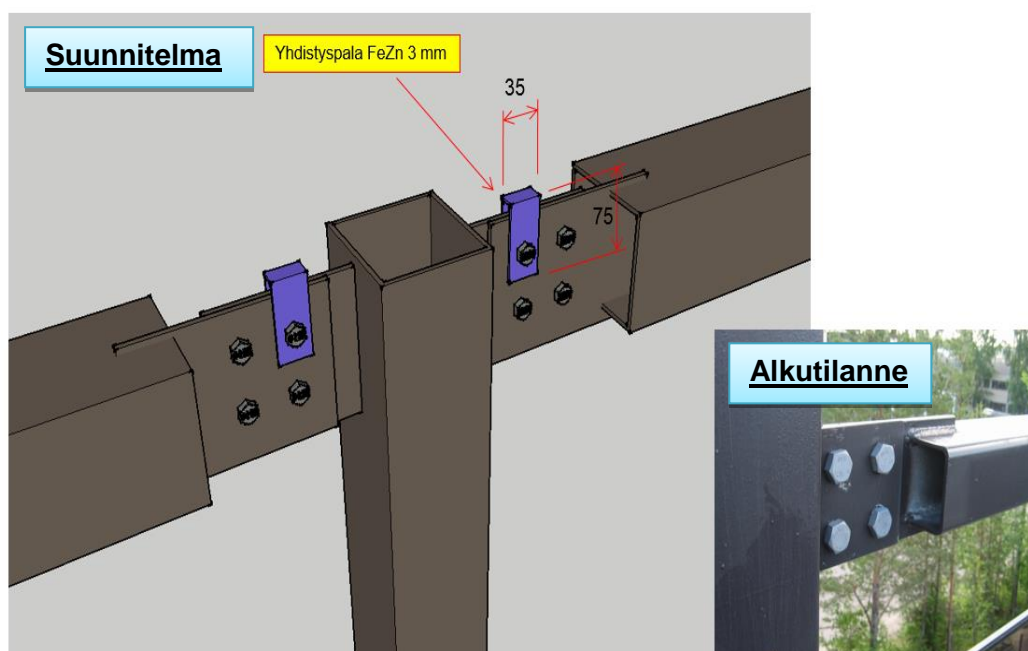
Luontaisena komponenttina voidaan käyttää paikalla valettuja teräsbetonirakenteita tai tehtaalla valmistettuja teräsbetonelementtejä. Luontaiset komponentit ovat hyvin käytännöllisiä vastaanottorakenteissa, alastulojohdinjärjestelmässä, maadoitusjärjestelmässä, potentiaalintasauksessa ja sähkömagneettisessa suojauksessa. Standardi antaa näihin kaikkiin tarkoituksiin yksityiskohtaiset ohjeet kuvituksineen standardissa IEC 62305-3 liite E.

Kaikki luontaiset suojauskomponentit on dokumentoitava erittäin tarkoin piirroksin ja kuvauksin suunnitelmissa, koska rakentamisen jälkeen on lähes mahdotonta paikallistaa salamasuojauksen luontaisia komponentteja erityisesti teräsbetonirakenteiden osalta. [1, s. 86.]

## 6.2 Luontaisten suojauskomponenttien käytön edellytykset

Luontaisten komponenttien täytyy olla luotettavia ja riittävän johtavia, jotta ne salaman iskiessä toimisivat oikein. Tämä edellyttää metallirakenteiden sähköistä jatkuvuutta eri osien välillä pysyvästi esimerkiksi juottamalla, hitsaamalla, puristamalla, saumaamalla, ruuvaamalla, pulttaamalla tai tarkoitusta varten suunnitelluilla ja valmistetuilla liittimillä.

Jatkuvia teräsbetonirakenteita voi käyttää alastulojohtimena ja maadoituselektrodin osana, jos myös se on sähköisesti jatkuva. Tämän toteutumisen edellytyksenä on, että valtaosa vaaka- ja pystysauvoista on hitsattu tai yhdistetty luotettavasti (kuva 15) muilla keinoilla kuten liittimillä tai puristamalla. Suunnittelijan tulee yhteistyössä rakennesuunnittelijan kanssa käydä läpi suunnitelmia, jotta päästään parhaaseen lopputulokseen toteutettavien suunnitelmien suhteen. Elementtirakentamisessa vierekkäiset ja peräkkäiset elementit kytketään yhteen. Jos betoniteräsverkon kokonaisresistanssi ylittää 0,2 ohmia, betoniteräksiä ei voida käyttää varsinaisina alastulojohtimina, vaan tällöin on asennettava erilliset alastulojohtimet. [1, s. 87.]



Kuva 15. Esimerkkisuunnitelma yhdistyspalan esityksestä suunnitelmassa:

1. Reunakaiteen yläpalkit ja pystytolpat yhdistetään toisiinsa sähköä hyvin johtavasti lisäämällä sinkitystä teräksestä valmistetut yhdistyspalat kuvan mukaisesti ylimpien vaakapalkkien ja kaikkien pystypilareiden yhdistyskohtiin.
2. Maalattujen palkkien liitospinnat hiotaan yhdistyspalan kohdasta niin, että liitospalan ja pystytolpat sekä vaakapalkin kosketus on metalli metallia vastaan.
3. Yksi kiinnityspultti uusitaan riittävän pulttipituuden varmistamiseksi.

### 6.3 Erotuskipinäväli

Erotuskipinävälien (kuva 16) tarkoitus on pitää määrättyjen sähkölaitteistojen osat toisistaan galvaanisesti erossa. Mikäli salamaniskut aiheuttavat potentiaalin nousun yhdessä laitteiston osassa, erotuskipinäväli varmistaa johtavan liitoksen ja mahdollistaa toivotun potentiaalitasauksen.

Kipinäväliä syntyvät eristetyssä, virtaa läpäisevässä tilassa, kun syöksyjännite sytyttää valokaaren. Erotuskipinäväliä eristävät erilaisia maapotentiaaleja, ja niitä käytetään sähköjärjestelmän maadoitukseen, telejärjestelmän maadoitukseen, laboratorion mitausmaadoitukseen, maadoituksen teräsosien erottamiseen kupari- ja betoniteräselektrodeista hyvin johtavassa maaperässä, katodisuojausten tai hajavirtojen sisältävään asennukseen, putkistojen eristävien laippojen ja kytkentöjen ohittamiseen. Salamasuojajärjestelmän erotuskipinäväliä eivät sovellu tapauksiin, joissa esiintyy jälkivirtoja. [1, s. 98.]



<p><b>Kipinävälisuoja, tyyppi 1</b> Suljetut, ulospuhaltamat- tomat suojat ympäristöstä johtuville purkauksille, suojaus salamaniskujen suoria ja epäsuoria vaiku- tuksia vastaan. Niiden rakenteen ansiosta, niitä voidaan käyttää myös alueilla ennen mittaria.</p>	<p><b>Varistorisuoja, tyyppi 2</b> Suojaa laitteiston ja sen jälkeisen asennuksen ympäristöstä indusoituvia ylijännitteitä ja kytkentäyli- jännitteitä vastaan. Ne voidaan asentaa tyyppi 1 suojiin perään, mini- mimetäisyyden ollessa &gt;15 suojiin välillä. Mikäli etäi- syy ei täyty, tulee käyttää</p>	<p><b>Yhdistelmäsuojat, hybridi, tyyppi 1</b> Modernit, korkealuokkaiset ja suori- tuskakykyiset yhdistelmäsuojat on varustettu edistyneellä tekniikalla. Niissä käytetty kipinävälitekniikka varmistaa asennuksen ja laitteosto- jen suojauksen suoria tai läheltä ympäristöstä indusoituvia yli- jännitteitä vastaan. Suojien tekniset arvot vastaavat 2- tai 3-tasoisista suojausta.</p>	<p><b>Varistorisuoja, tyyppi 3</b> Suojaat alentavat jäännös- jännitteen alemmaksi kuin 1,25 / 1,5 kV. Niitä käytetään vii- meisenä yli- jännitesuoja- elementtinä. Ne asennetaan yleisesti lähelle suojattavaa kulutuspiiristä ja ryhmä- koh- taisiksi suojiiksi.</p>
---	--	---	--

Kuva 16. Hager-ylijännitesuojia [13, s. 6.]

## 7 Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmät

Standardissa IEC 62305-4 käydään läpi rakennusten sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien suojaamista salaman sähkömagneettisen pulssin (LEMP) aiheuttamilta ylijännitteiltä. Sähkömagneettinen pulssi saattaa aiheuttaa sähköjärjestelmille vaarallisia ylijännitteitä johtumalla ja indusoitumalla laitteiden johdotuksiin ja säteilevän sähkömagneettisen kentän kautta suoraan laitteisiin. Standardissa annetaan tietoa vaurioriskien pienentämisestä LEMP-suojauksen suunnittelussa, asennuksessa, tarkastamisessa, ylläpidossa ja testauksessa.

Salama on hyvin suurienerginen ilmiö, ja sen iskussa voi vapautua satojen megajoulen energioita. Nykyaikaiset laitteet sisältävät paljon elektroniikkaa, joka voi rikkoutua jo millijoulen energiasta, joten voidaan todeta että tämän vuoksi suojaustarve on aiheellista. Erityisen tärkeitä ovat tietojen käsittelyssä, siirrossa, varastoinnissa sekä suurten laitosten prosessinohjauksessa ja turvallisuusjärjestelmissä toimivat elektroniset järjestelmät, sillä prosessin keskeytyminen on erittäin haitallista kustannus- ja turvallisuussyistä. [1, s. 101.]

### 7.1 Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien suojausperiaatteet

Suojajyhdistelmät	Pääkeskus	Alakeskus 1	Alakeskus 2	Kulutuskoje	Kaapelipituus L1	Kaapelipituus L2
Ukkossuoja Tyyppi 1 ⓑ	B	L1 → C D		Televisio	15 m	
+ Ylijännitesuoja Tyyppi 2 ⓒ	B	L1 → C	L2 → D	HIFI PC	15 m	vapaa
+ Laitesuoja Tyyppi 3 ⓓ	B+C	L1 → D		Pesukone	vapaa	
	B+C D			Kuivausrumpu Jääkaappi		

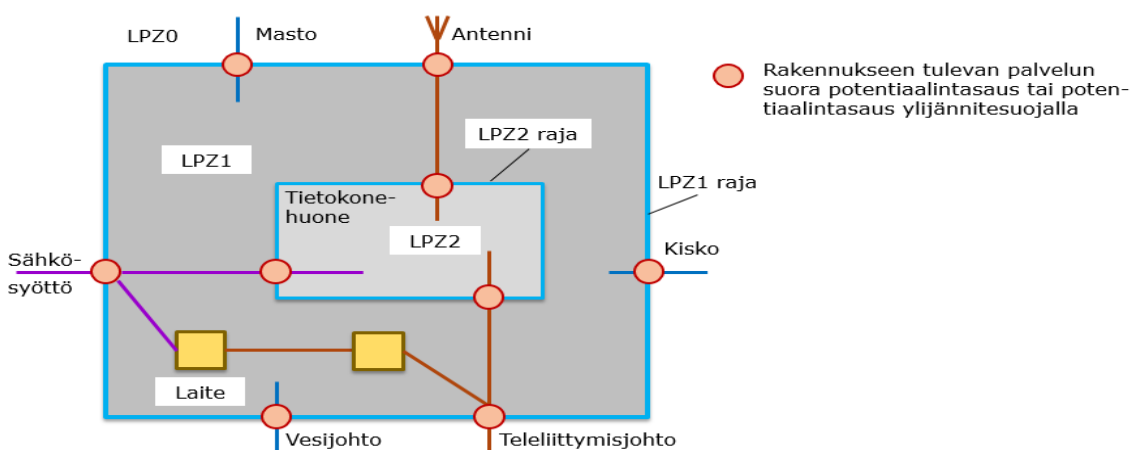
Kuva 17. Ukkos- ja -ylijännitesuojien sijoittelu sähkökeskuksiin esitettynä muutamana asennusesimerkkinä [16, s. 20.]

Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien suojaaminen sisältää maadoituksen ja potentiaalin-tasauksen, johtojen reitityksen sekä mahdollisen magneettisen suojauksen, koordinoitua ylijännitesuojauksen sekä tarpeelliset erotuslaitteet ja -toimenpiteet.

Sähkö- ja elektroniikkajärjestelmien LEMP-suojaus perustuu salamasuojausvyöhykkeiden (LPZ) soveltamiseen (kuva 18). Suojattava järjestelmä on sijoitettava vyöhykkeen LPZ 1 – n sisälle. Tämä mahdollistetaan indusoituneita magneettikenttiä vaimentavalla suojauksella tai sopivilla induktiosilmukoita välttävällä johtojen reitityksellä. [1, s. 102.]

Suurempinumeroiselle suojausvyöhykkeelle siirryttäessä salamasta aiheutuvien ylijännitteiden (LEMP) pieneneminen on merkittävää.

- LPZ0<sub>A</sub>** Vyöhyke, jossa uhkan aiheuttaa suora salamanisku ja täysi sähkömagneettinen kenttä. Rakennuksen sisäiset järjestelmät voivat olla alttiina täydelle tai osittaiselle salamavirralle.
- LPZ0<sub>B</sub>** Vyöhyke on suojattu suoraa salamaniskua vastaan, mutta uhkana on täysi sähkömagneettinen kenttä. Rakennuksen sisäiset järjestelmät voivat olla alttiina osittaiselle salamavirralle.
- LPZ1** Vyöhyke, jossa salamavirtaa on rajoitettu virran jakamisella ja vyöhykerajalla sijaitsevilla eristävillä komponenteilla ja/tai ylijännitesuojilla.
- LPZ2...n** Vyöhyke, jossa salamavirtaa on rajoitettu lisää virran jakamisella ja vyöhykerajalla sijaitsevilla eristävillä komponenteilla ja/tai ylijännitesuojilla. Tilasuojauksia voidaan käyttää sähkömagneettisen kentän edelleen vähentämiseksi.

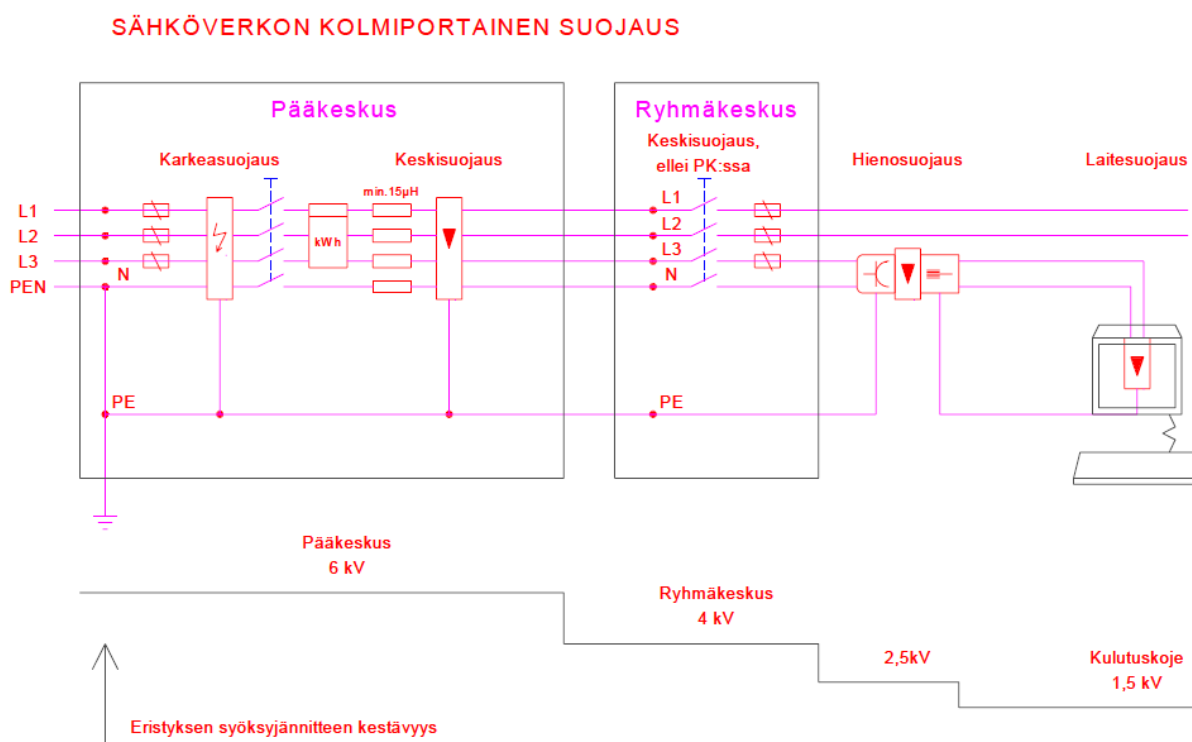


Kuva 18. Rakennuksen jako LPZ-alueisiin

## 7.2 Koordinoitu ylijännitesuojaus

Sisäiset järjestelmät edellyttävät sähkö- ja signaalijohdoissa systemaattista ja koordinoitua suojausjärjestelmää (SPD) (kuva 19). Ainoastaan suojausvyöhykettä LPZ 1 sovellettaessa suojat on sijoitettava vähintään vyöhykkeen tuloon. Sisäkkäisiä suojausvyöhykkeitä LPZ 1, LPZ 2 tai muita suojausvyöhykkeitä sovellettaessa suojat on sijoitettava jokaisen vyöhykkeen tuloon, mikäli vyöhykkeet eivät ole yhdistettynä suojatulla johtotiellä. Lisäsuojia saatetaan tarvita, mikäli etäisyys suojan ja suojattavan laitteen välillä kasvaa pitkäksi.

Koordinoidussa suojausjärjestelmässä on useita peräkkäisiä ylijännitesuojia (SPD).



Kuva 19. Ylijännitesuojauksen kolmiportaisuus.

Suojausjärjestelmän tehtävänä on suojata kohdetta johtimia pitkin tulevilta salamavirroilta sekä ylijännitteiltä. Iskukohdan kautta voi tulla merkittävä osa salamavirroista, jopa 100 kA rakennuksen johtoja pitkin. Suojattavassa kohteessa tarvitaan suojaki-pinävälä tai muuta jännitettä kytkevää ylijännitesuojaa näiden virtojen poisjohtamiseksi. [1, s. 123.]



Ylijännitesuoja valitaan siten, että sen suojaustaso alittaa ylijänniteluokan vaatimuksen ja että suojan syöksyvirtakestoisuus vastaa asennuskohteen todennäköistä syöksyvirtaa. Ylijännitesuojaa valittaessa on myös huomioitava verkon nimellisjännite.

Tärkeimpiä näkökohtia ovat

- ylijännitteen rajoituskyky ( $U_p$ ) odotettavissa olevalla syöksyaallolla
- suojan energiankestävyys, virrat ja jännitteet ( $I_{imp}$ ,  $I_{max}$ ,  $I_n$ ,  $U_{oc}$ ), jotka suoja kestää.

Portaan 1 suojan on kestettävä salamavirtaa  $I_{imp}$  12,5—20 kA/vaihe. Osa salamavirrasta voi tulla sähköjärjestelmään, jos salama iskee syöttävään sähköverkkoon, rakennukseen tai läheiseen rakennukseen. Tyypin 1 suojat sijoitetaan yleisimmin pääkeskukseen. Luotettavimpana tyypin 1 suojana pidetään kipinäväliä. [1, s. 123.]

Kipinävälin jälkeinen ylijännite voi olla vielä muutaman kilovoltin luokkaa ja sen pienentämiseen tarvitaan toinen suojausporras (Porras 2, välisuoja, tyypin 2 suojat, varistorit). Tyypin 2 suojan täytyy kestää indusoituvia virtoja  $I_n$ . Tyypin 1 ja tyypin 2 suojien sijasta voidaan käyttää yhdistelmäsuojaa eli hybridisuojaa, joka kestää suuria salamavirtoja ja pienentää jännitepiikit samalle tasolle kuin välisuojat.

Porras 3, hienosuojaus jonka tehtävänä on poistaa rakennuksen sisällä oleviin kaapeleihin indusoituneet jännitteet. Tyypin 3 suojat sijoitetaan laitteiden tuloihin tai niiden läheisyyteen. Hienosuojat ovat tarpeettomia jos sisäiset kaapeloinnit ovat alle 10 metriä pitkiä tai kaapelit kulkevat metallisissa johtokouruissa. [1, s. 124.]

Sähköjärjestelmän suojien täytyy täyttää standardin IEC EN 61643-11 ja tele- ja signaalijärjestelmien suojien standardin IEC/EN 61643-21 vaatimukset. Standardit IEC EN 61643-12 ja 61643-22 antavat tietoa suojien valinnasta ja soveltamisesta. [1, s. 125.]

Tarkka ylijännitesuojauksen suunnittelu edellyttää, että on saatu riittävästi tietoa salamavirran jakautumisesta sähkö-, tele- ja signaali-johtoihin ja muihin palvelujohtoihin. Virran jakautumista voidaan arvioida standardin IEC 62305-3 annettuja ohjeita soveltaen. Käytännössä laskenta on kuitenkin hankalaa, sillä lähtötietojen saatavuus on yleensä huonoa ja epävarmaa.

## 8 Yhteenveto

Aihe opinnäytetyön tekemiseen syntyi mielenkiinnosta perehtyä ukkoseen ja sen suojaukseen liittyviin seikkoihin. Opinnäytetyön tarkoituksena on perehdyttää lukija ukkos-suojaukseen olemassa olevien standardien näkökulmasta. Lähtökohtaisesti aihe oli entuudestaan tuntematon ja alkutietojen kerääminen osoittautui haasteelliseksi, koska alkuperäiset standardisarjat on laadittu englanninkielisiksi ja niiden pohjalta on tehty suomenkielinen käsikirja, jossa on esitetty lyhennelmät standardisarjoista. Tämän insinöörityön tekohetkellä suomenkielinen käsikirja oli lähes viisi vuotta vanha.

Ilmiönä ukkonen on hyvin arvaamaton, ja salamoista johtuvien ylijännitesuojauksen tarpeiden ja sen suunnittelussa huomioitavien asioiden arvioiminen on salaman epäloogisuudesta johtuen haastavaa. Sen myötä myös insinöörityöni rajaaminen oli haastavaa. Mielestäni rajauksessa onnistuttiin lähtökohtiin nähden hyvin, ja se ohjaa lukijan ymmärrettävästi käymään läpi ukkosesta johtuvien haittojen perusteita ja standardisarjoissa esitettäviä olennaisia asioita.

Suomessakin on saatu todistaa voimakkaita ukkoskuuroja, jotka ovat tehneet tuhoa sähkönjakelujärjestelmissä. Vaurioista johtuneet tuhot aiheuttavat usein taloudellisia ja materiaali menetyksiä, mutta pahimmillaan seurauksena voi olla ihmiseen tai eläimeen kohdistuva loukkaantuminen tai kuolema. On hyvä myös huomioida elektroniset järjestelmät, jotka ovat komponenteiltaan kalliita, monimutkaisia tai toiminnaltaan tärkeitä pitää päällä myös ukkosen osuessa lähelle toimintoja. Esimerkiksi tietoteknisetjärjestelmät, sairaalajärjestelmät ja paikannusjärjestelmät ovat edellä mainittuja järjestelmiä.

Vaikka mikään ukkossuojaus ei estä aivan täysin salamaniskun riskejä, voidaan sen mahdollisuutta ja tuhoa vähentää rakentamalla kunnollinen ukkossuojaus suojeltavan kohteen ympärille.

Tässä työssä käytiin läpi rakennuksen ja siellä käytössä olevien sähkö- ja telejärjestelmien ukkossuojaamista ilmastollisten ylijännitteiden aiheuttamilta vahingoilta ja häiriöiltä. Työssä tutkittiin rakennusten sähkönjakelu- ja telejärjestelmien ylijännitesuojausta standardin IEC62305-1...4 näkökulmasta, perehdyttiin Suomessa käytössä oleviin standardeihin ja ylijännitesuojauksessa käytettäviin komponentteihin sekä tutkittiin ukkossuojauksen suunnitteluprosessissa huomioitavia asioita ja ukkossuojauksen tarpeen arvioinnin perusteita. Opinnäytetyötä tehdessä ymmärryksen ukkossuojauksen

rakentamisesta ja sen tarpeellisuuden arvioinnista karttui huomattavasti. Kohteiden ukkossuojaaminen on usein omistajan ja käyttäjän päätöksestä riippuvaista ja vapaaehtoista, poislukien muutamat vaarallisia aineita sisältävät kohteet sekä esim. kulttuuri-perinnöllisesti arvokkaiksi määritellyt rakennukset kuten kirkot.

Suomessa sähkönjakeluyhtiöt ovat alkaneet varautua myrskyistä ja myrskytuulen vaikutuksista aiheutuvia sähkönjakeluhäiriöitä vastaan ja muuttamaan ilmajohtoverkkojaan maakaapeloiduiksi. Samalla saadaan myös suora hyöty voimalinjojen ukkossuojaukseen. Mitä enemmän Suomen sähköverkon ilmakaapeleita kaivetaan maaperään, sitä paremmin pystytään suojaamaan voimalinjat salamoista aiheutuvilta katkoksilta sähkönjakelussa.

Kohde kohtaiseen ukkossuojaukseen laitemarkkinoilla on tarjolla teknologisesti kehittyneitä ja yhä kehittyviä ukkossuojia, joilla saadaan tehtyä hyvin tarkkoja ja hienoja suojauksia tarvittaville laitteille ja järjestelmille.

Uusien IEC:n standardikokoelmien valmistuttua Suomessa tulisi ottaa käyttöön entistä enemmän velvoitteita ja opastuksia, joilla pyrittäisiin parantamaan ja lisäämään ukkossuojauksen varmuutta ja toimintaa uusien rakennuksien ja rakenteiden, sekä saneerauskohteiden suojaamiseksi. Aiheeseen liittyvää koulutusta tulisi parantaa oppilaitoksissa ja erillistä ammattihenkilöiden kurssittamista lisätä. Koulutuksen lisäämisen myötä saavutettaisiin suunnitelmien laatimiskyvyn paraneminen, lisääntyminen ja suunnitelmien tulkinnan varmentuminen.

## Lähteet

- 1 SFS-käsikirja 609. 2009. Rakennusten ja rakenteiden salamasuojaus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 2 Ukkonen ja salamointi. Luettu 5.8.2014. Verkkodokumentti. Yle oppiminen. <<http://oppiminen.yle.fi/saa-ilmasto/ukkonen-salamointi>>
- 3 Suomen ukkosilmasto. Luettu 5.8.2014 Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos <<http://ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ukkosilmasto>>
- 4 Salamet ja ukkonen. Luettu 5.8.2014. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/salama-ja-ukkonen>>
- 5 Tuomi, Tapio J., Mäkelä, Antti. Ukkosta ilmassa. 2009. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys URSA ry.
- 6 Mäkelä, Antti. Salamahavainnot 2011, raportti 2011:7. 2011. Helsinki: Ilmatieteenlaitos.
- 7 Perustietoa ukkosesta. Luettu 5.8.2014. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/perustietoa-ukkosesta>>
- 8 Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva, V. 2011. Suurjännite-tekniikka. Jyväskylä: Bookwell Oy.
- 9 Tiainen, E., Rakennusten ylijännite- ja ukkossuojaus. 2005. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- 10 ST 97.25. Sähkö- ja tietojärjestelmien kuntotutkimus. Ukkos- ja ylijännitesuojaus. 2005. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 11 Saaristola, I. 2011. Rakennusten- salama ja ylijännitesuojaus. Verkkodokumentti. OBO Betterman Oy. <<http://nssoy.fi/uploads/nss/NSS%20salama%20ja%20ylijannitesuojaus.pdf>> Luettu 8.8.2014
- 12 Lightning protection guide. 2007. Neumarkt: Dehn + Söhne
- 13 Ukkos- ja ylijännitesuojaus tuoteluettelo 2013. 2013. Tuoteluettelo. Vantaa: UTU Oy.

**IEC 62305-4 sisällysluettelo suomennettuna****Ukkossuojaus – Osa 4:n Rakennuksen sähkö- ja elektroniikkajärjestelmät**

ESIPUHE

JOHDANTO

**1 Sovellutusalue****2 Viitteet muihin normeihin****3 Termit ja määritelmät****4 Järjestelmien suojausten suunnittelu ja asennus**

4.1 Yleistä

4.2 Järjestelmien suojausten suunnittelu

4.3 Ukkossuojausvyöhykkeet (LPZ)

4.4 Järjestelmien perussuojaus

**5 Maadoitus ja potentiaalintasaus**

5.1 Yleistä

5.2 Maadoitusverkosto

5.3 Potentiaalintasausverkosto

5.4 Potentiaalintasauskiskot

5.5 Potentiaalintasaus ukkossuojausvyöhykkeiden (LPZ) rajoilla

5.6 Potentiaalintasauskomponenttien materiaalit ja mitoitus

**6 Magneettinen suojaus ja kaapelien reititys**

6.1 Tilasuojaus

6.2 Sisäisten kaapelien suojarakenteet

6.3 Sisäisten kaapelien reititys

6.4 Ulkoisten kaapelien suojarakenteet

6.5 Magneettisten suojarakenteiden materiaalit ja mitoitus

**7 Koordinoitus ylijännitesuojaus****8 Erotuslaitteet****9 Järjestelmien suojausten hallinta**

9.1 Yleistä

9.2 Järjestelmien suojausten hallintasuunnitelma

9.3 Järjestelmien suojausten tarkastus

9.3.1 Tarkastusmenettely

9.3.2 Tarkastusdokumentit

9.4 Ylläpito